

10/580351

IAP9 Rec'd PCT/PTO 23 MAY 2006

**INTERNATIONAL APPLICATION NO: PCT/DE05/001924**

**INVENTOR:**

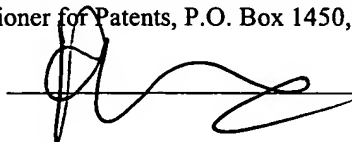
**DR. LARS FRIEDRICH**

"Express Mail" Mailing label number EV 499 889 311 US

Date of Deposit: May 23, 2006

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Services "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to United States Receiving Office, Mail Stop PCT, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

Reg. No. 32,124, Russell D. Culbertson



---

## **Verfahren zur Überwachung einer optischen Übertragungsstrecke mittels eines optischen Verstärkers und optischer Verstärker hierfür**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung einer optischen Übertragungs-  
5 strecke mittels eines optischen Verstärkers, insbesondere eines Raman Verstärkers und  
einen hierfür geeigneten optischen Verstärker.

Bei der Übertragung von optischen Signalen über große Entfernungen finden in der  
Praxis häufig optische Verstärker Verwendung, da diese mit weniger Aufwand zu reali-  
sieren sind als dies bei einer Signalverstärkung durch die optisch-elektrische Wandlung  
10 der Signale, einer rein elektrischen Verstärkung und gegebenenfalls Signalaufbereitung  
und einer sich daran anschließenden elektrisch-optischen Wandlung möglich wäre. Die  
optische Signalverstärkung ist dabei auch in solchen Fällen möglich, in denen nicht nur  
ein Signal mit einer einzigen Wellenlänge, sondern ein Wellenlängenmultiplexsignal  
übertragen wird.

15 Neben der optischen Signalverstärkung mittels eines sogenannten EDFA (Erbium Do-  
ped Fiber Amplifyer) besteht die Möglichkeit, die optische Signalverstärkung unter  
Nutzung des Raman-Effekts durchzuführen. Die letztgenannte Möglichkeit bietet den  
Vorteil, dass in die Übertragungsstrecke keine speziell gefertigte Faser eingesetzt wer-  
den muss. Der Raman-Effekt, ein nicht-linearer optischer Effekt, tritt auch bei der Ein-  
20 koppelung entsprechend hoher Pumpleistungen in konventionelle optische Lichtwel-  
lenleiter auf. Für im Wesentlichen aus Silizium bestehende Fasern tritt die maximale  
optische Verstärkung bei einem Frequenzabstand von ca. 13 THz von der Pumpwellen-  
länge in Richtung hin zu größeren Wellenlängen auf. Der Verlauf der Verstärkung  
zwischen der Pumpwellenlänge um dem Maximum der Verstärkung ist dabei im We-  
25 sentlichen linear ansteigend.

Bei der Verwendung von Verstärkern, die derart große Pumpleistungen in die Übertragungsstrecke einkoppeln, muss dafür Sorge getragen werden, dass bei einem Auftreten der Übertragungsstrecke, sei es durch das Trennen einer Steckverbindung oder bei einem Bruch des Signal übertragenden Lichtwellenleiters, durch die dann aus der Übertragungsstrecke austretende hohe optische Leistung nicht zu einer Gefährdung von Personen kommt.

Ist eine Übertragungsstrecke bereits in Betrieb, so erfolgt die Überwachung hinsichtlich eines Auftretens der Übertragungsstrecke regelmäßige auf einfache Weise durch das Detektieren eines Signalverlusts. Hierbei wird ein LOS (Loss of Signal) Signal erzeugt, das dann dazu verwendet wird, die Signalquellen und ggf. auch Pumpquellen abzuschalten oder hinsichtlich ihrer Leistung zumindest soweit herunterzufahren, dass keine Gefährdung von Personen oder auch Gegenständen mehr zu befürchten ist.

Dieses Verfahren zum Schutz von Personen lässt sich jedoch nicht durchführen, wenn noch keine Kommunikationsverbindung zwischen den Endpunkten einer Übertragungsstrecke besteht. Beim Etablieren einer Kommunikationsverbindung, d.h. beim Aktivieren der Signalübertragungsquellen bzw. Pumpquellen von optischen Verstärkern muss jedoch ebenfalls dafür Sorge getragen werden, dass im Fall einer offenen Übertragungsstrecke aus dem betreffenden offenen Ende, bei dem es sich sowohl um einen gezogenen Stecker als auch um einen Faserbruch handeln kann, keinerlei Gefahrpotential erzeugt wird. Insbesondere sind hierbei Vorgaben hinsichtlich des Einhaltens von Laserschutzklassen einzuhalten.

Um in der Praxis ein derartiges Gefahrenpotential zu vermeiden ist es beispielsweise aus der US 2003/0179987 A1 bekannt, im Fall einer optischen Wellenlängenmultiplex-(WDM) Übertragungseinrichtung die Pumpleistung einer Raman-Pumpe mittels einer separaten Faser erst unmittelbar vor der Übertragungsstrecke mittels einer Bypass-Koppeleinheit in die Übertragungsstrecke einzukoppeln. Die optischen Sende- und Empfangssignale werden jedoch von den eigentlichen Empfängern bzw. Sendern über ein separates Rack geführt, das beispielsweise ein Patch-Panel umfassen kann. Ein

derartiges Patch-Panel dient zur Herstellung optischer Verbindungen durch das Stecken entsprechender Patch-Kabel. Da an diesem Patch-Panel häufig Steckverbindungen gelöst und hergestellt werden, wäre es ein hohes Risiko, auch die Pumpleistung über dieses Patch-Panel zu führen. Das Verwenden einer Bypass-Faser gewährt demgegenüber eine deutlich höhere Sicherheit. Zudem umfasst die Bypass-Koppeleinheit Sensoren für das Erfassen der Pumpleistung bzw. der Leistung des WDM-Signals. Ein Controller, der die Signale der Sensoren auswertet, kann abhängig von bestimmten Situationen Shutter, die im WDM-Signalfad bzw. im Pfad des Pumpsignals vorgesehen sind, öffnen bzw. schließen. In gleicher Weise kann der Controller die Raman-Pumpe nach dem Detektieren einer gefährdenden Situation abschalten.

Ein derartiges System gewährleistet jedoch nicht, das Detektieren von Situationen, in denen die Übertragungsstrecke des WDM-Signals zwischen den beiden Endpunkten nicht korrekt besteht.

Aus der US 6,621,620 B2 ist ein optisches Verstärkersystem bekannt, bei dem eine offene Übertragungsstrecke detektiert und bei Detektieren eines derartigen Zustands die Pumpquelle deaktiviert wird. Für das Detektieren einer offenen Übertragungsstrecke wird das Signal ausgewertet, das beispielsweise an offenen Steckverbindungen, d.h. gelösten Steckern, oder auch an glatten, senkrechten Brücken einer Faser reflektiert wird. Da das Pumpsignal jedoch mittels eines Filters blockiert wird, kann nur das reflektierte Signal detektiert werden, welches sich infolge einer Reflexion des Nutzsignals ergibt.

Zwar ermöglicht ein derartiges System das Erkennen von offenen Steckverbindungen bzw. von Faserbrüchen. Es wird jedoch nur in solchen Fällen eine gestörte Kommunikationsverbindung erkannt, in denen eine ausreichend hohe Signalleistung reflektiert wird. Dies ist jedoch nur im Wesentlichen nur bei ausreichend glatten und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung verlaufenden Endflächen der Fall. Faserbrüche mit schrägen oder vollkommen unregelmäßigen Endflächen sind jedoch auf diese Weise ebenso wenig

detektierbar wie spezielle Stecker, die zur Vermeidung von Fresnel-Reflexionen schräg angeschliffen wurden.

5 Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überwachung einer optischen Übertragungsstrecke mittels eines optischen Verstärkers, insbesondere eines Raman-Verstärkers, zu schaffen, das sicherstellt, dass auch solche Unterbrechungen einer Übertragungsstrecke sicher erkannt werden, die keinerlei oder allenfalls sehr geringe Fresnel-Reflexionen erzeugen. Des Weiteren liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine optische Verstärkereinheit zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen.

10 Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 bzw. 11.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass die beim Einkoppeln des Pumpsignals in die Übertragungsstrecke auftretende spontane Emission und das hierdurch verursachte ASE (Amplified Spontaneous Emission) Signal dazu verwendet werden kann, um festzustellen, ob innerhalb der effektiven Länge der Übertragungsstrecke, in der  
15 infolge der ausreichen hohen Pumpleistung eine nutzbare Raman-Verstärkung auftritt, eine Unterbrechung der Übertragungsstrecke vorliegt. Hierzu wird eine ausreichend hohe Pumpleistung in die Übertragungsstrecke eingekoppelt und das entgegen der Ausbreitungsrichtung des Pumpsignals in Richtung auf die Pumpquelle zurückgeführte ASE Signal detektiert. Die Leistung dieses ASE Signals, die in nicht-linearer Form von der  
20 Leistung der Pumpquelle abhängig ist, wird ermittelt und mit einem Schwellwert verglichen, der bei der jeweiligen Pumpleistung im Fall einer ungestörten Übertragungsstrecke zu erwarten wäre. Ist die Leistung des detektierten ASE Signals kleiner als der vorgegebene Schwellwert, gegebenenfalls unter Berücksichtigung einer zulässigen Toleranz, so wird ein Fehlersignal erzeugt. Das Fehlersignal weist darauf hin, dass die  
25 Übertragungsstrecke unterbrochen ist oder jedenfalls nicht korrekt funktioniert.

Die detektierte Leistung des ASE Signals kann darüber hinaus dazu verwendet werden, um in etwa den Ort einer Unterbrechung zu lokalisieren. Hierzu kann die Abhängigkeit

der Leistung des detektierten ASE Signals von der Länge der korrekt arbeitenden Übertragungsstrecke herangezogen werden. Ist die Pumpleistung bekannt, so kann aus der funktionalen Abhängigkeit der Leistung des detektierten ASE Signals von der Länge der korrekt funktionierenden Übertragungsstrecke in Kenntnis der Leistung des detektierten ASE Signals die Länge der Übertragungsstrecke bis zur Unterbrechung ermittelt werden.

Das Fehlersignal kann dazu herangezogen werden, um die Pumpquelle sofort nach dem Erzeugen des Fehlersignals zu deaktivieren. Da das ASE Signal praktisch zeitgleich mit dem Vorliegen einer ausreichend hohen Pumpleistung erzeugt wird und praktisch ohne Zeitverzögerung detektierbar ist, kann die Pumpquelle so schnell deaktiviert werden, dass keinerlei Gefährdungspotential am Ort der Unterbrechung der Übertragungsstrecke erzeugt wird.

Selbstverständlich kann bei Auftreten eines Fehlersignals auch eine optische oder akustische Fehlermeldung und/oder ein Bediennerruf erzeugt werden.

Das Verfahren nach der Erfindung eignet sich insbesondere auch zur Überwachung einer optischen Übertragungsstrecke in der Phase des Hochfahrens eines optischen Verstärkers, d.h. beim Einschalten der Pumpleistung. Die Pumpleistung kann im einfachsten Fall sofort auf den Maximalwert oder auf einen kleineren Wert eingestellt werden, der jedoch so zu bemessen ist, dass noch der Raman-Effekt auftritt und somit ein ASE Signal detektiert werden kann. Der letztgenannte Fall einer kleineren Pumpleistung als der beim üblichen Betrieb der Übertragungsstrecke vorliegende Maximalwert (dieser kann selbstverständlich kleiner sein als der Wert der maximal von der Pumpe erzeugbaren Pumpleistung) führt jedoch zu dem Vorteil, dass im Fall einer unterbrochenen Übertragungsstrecke aus dem freien Ende eine geringere Leistung austritt.

Selbstverständlich kann die Pumpleistung auch kontinuierlich oder schrittweise erhöht und jeweils die Leistung des zugehörigen ASE Signals erfasst werden. Dabei kann für jeden „Betriebspunkt“ während des Erhöhens die ermittelte Leistung des ASE Signals

mit einem korrespondierenden Schwellwert verglichen werden. Jeder Schwellwert kann in der vorstehend erläuterten Weise entweder theoretisch oder im Rahmen eines Kalibriervorgangs ermittelt werden. Die Kalibrierung wird, wie vorstehend erläutert, mit korrekt funktionierender Übertragungsstrecke ermittelt. Jeder Schwellwert kann, zugeordnet zur betreffenden Pumpleistung, abgespeichert werden.

Ein Fehlersignal kann für den Fall; dass mehrere ASE Signale für unterschiedliche Pumpenleistungen oder ein kontinuierlicher Verlauf des ASE Signals für einen kontinuierlich durchfahrenen Bereich der Pumpenleistung ermittelt wird, beispielsweise dann erzeugt werden, wenn die für mehrere oder für alle unterschiedlichen Werte für die Pumpleistung detektierten Werte für die Leistung des zugehörigen ASE Signals ein Unterschreiten des betreffenden Schwellwertes, gegebenenfalls unter Berücksichtigung einer zulässigen Toleranz, festgestellt wird. Selbstverständlich sind hier auch andere mathematische Verfahren und Kriterien denkbar, die zur Erzeugung eines Fehlersignals abhängig von einem oder mehreren erfassten Werten für die Leistung des ASE Signals bei jeweils zugehörigen Pumpleistungen und abhängig von theoretisch oder empirisch bestimmten Schwellwerten bzw. zu erwartenden Werten für die Leistung des ASE Signals bei korrekter Übertragungsstrecke eingesetzt werden können.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung kann in einem vorgeschalteten Verfahrensschritt die Pumpleistung auf einen Wert eingestellt werden, bei der in der Übertragungsstrecke noch keine nicht-linearen optischen Effekte auftreten. Anstelle der Leistung eines ASE Signals kann dann die Leistung von möglicherweise auftretenden reflektierten Signalanteilen detektiert werden. Bei Überschreiten eines vorbestimmten Schwellwerts kann dann ein Reflexions-Fehlersignal erzeugt werden. Dies kann ebenfalls dazu genutzt werden, um die Pumpquelle wieder vollständig abzuschalten bzw. eine optische oder akustische Fehlermeldung auszugeben oder einen Bedienernurf zu erzeugen. Wird bereits ein Reflexions-Fehlersignal erzeugt, so ist kein Erhöhen der Pumpleistung auf einen Wert erforderlich, bei dem der Raman-Effekt eintritt und ein ASE Signal erzeugt wird. Denn in diesem Fall kann bereits infolge des linearen Effekts der Reflexion auf eine gestörte Übertragungsstrecke geschlossen werden.

Nach der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Pumpleistung des optischen Verstärkers moduliert, insbesondere amplitudenmoduliert. Auf diese Weise kann das ASE Signal phasensensitiv, beispielsweise mittels eines Lock-in Verstärkers, detektiert werden. Auf diese Weise kann ein ASE Signal mit sehr geringer Leistung mit hoher Genauigkeit detektiert werden. Die Pumpleistung muss daher zunächst nur auf einen Wert eingestellt werden, der nur geringfügig höher liegt als der Wert, bei dem der Raman-Effekt eintritt. Hierdurch wird das Gefahrenpotential im Fall einer offenen Übertragungsstrecke reduziert.

Die Pumpleistung kann auf diese Weise, gegebenenfalls in mehreren Schritten oder kontinuierlich unter gleichzeitigem Detektieren des ASE Signals bis zum Erreichen des Maximalwerts der Pumpleistung erhöht werden, der für den Betrieb der Übertragungsstrecke gewünscht ist. Hierdurch ergibt sich eine erhöhte Sicherheit. Denn mit zunehmender Pumpleistung vergrößert sich die effektive Länge der Übertragungsstrecke, innerhalb der die Leistung so groß ist, dass nicht-lineare Effekte auftreten. Liegt eine Unterbrechung der Übertragungsstrecke jenseits der effektiven Länge bei einer geringen Pumpleistung, so wird in diesem Fall noch ein ausreichend hohes ASE Signal erfasst. Liegt der Ort der Unterbrechung jedoch bei einer Erhöhung der Pumpleistung innerhalb der effektiven Länge, so wird in diesem Fall eine Unterbrechung der Übertragungsstrecke detektiert.

Die Modulation der Pumpleistung kann auch derart erfolgen, dass die zeitlich gemittelte Pumpleistung unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes liegt, z.B. durch eine Pulsbreitenmodulation mit einem entsprechenden Tastverhältnis (Einschaltdauer klein gegen die Ausschaltdauer). Auch auf diese Weise wird in Verbindung mit der schnellen Reaktionszeit bis zum Abschalten der Pumpleistung nach dem Detektieren eines Fehlersignals die Sicherheit erhöht und gegebenenfalls das Einhalten einer bestimmten Laserschutzklasse gewährleistet.

Weitere Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.



Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der Zeichnung zeigen

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer WDM-Übertragungsstrecke mit einem optischen Verstärker nach der Erfindung;
- 5 Fig. 2 ein Diagramm mit einer schematischen Darstellung der Leistung, die von einer Pumpquelle und von mehreren optischen Sendern in Form eines WDM-Signals in die Übertragungsstrecke eingekoppelt wird und
- Fig. 3 ein Diagramm, das schematisch den Verlauf der Leistung des Nutzsignals und den Verlauf der Pumpleistung über die Länge der Übertragungsstrecke darstellt.
- 10

Das in Fig. 1 dargestellte WDM-Übertragungssystem umfasst eine WDM-Sendeeinheit 3 und eine WDM-Empfangseinheit 5. Aus Gründen der Einfachheit ist zur Erläuterung der vorliegenden Erfindung ein unidirektionales WDM-Übertragungssystem dargestellt, ohne dass dies die Tragweite der Erfindung auch für bidirektionale Übertragungssysteme einschränkt.

15

Das WDM-Übertragungssystem 1 umfasst des Weiteren eine optische Verstärkereinheit 7, die vorzugsweise eine optische Verstärkung unter Ausnutzen des Raman-Effekts bewirkt, in jedem Fall jedoch eine so hohe optische Pumpleistung in die Übertragungsstrecke 9 einkoppelt, dass der nicht-lineare Raman-Effekt auftritt. Die optische Verstärkereinheit 7 umfasst ihrerseits eine Koppeleinheit 11, die beispielsweise als Schmelzkoppler oder Koppler in integrierter Optik ausgebildet sein kann. Dem Arm der Koppeleinheit 11, der nicht im Signalpfad der Übertragungsstrecke 9 liegt, wird die Pumpleistung  $P_p$  einer Pumpquelle 13 zugeführt. Die Pumpquelle umfasst beispielsweise einen Pump激光器, der die Pumpleistung bei einer bestimmten Pumpwellenlänge  $\lambda_p$  abgibt.

20

Selbstverständlich kann die Pumpquelle jedoch auch zwei oder mehrere Pumpquellen

25

bei unterschiedlichen Pumpwellenlängen aufweisen, wenn eine optische Verstärkung über eine größere Bandbreite erwünscht ist.

Die Koppereinheit 11 kann als wellenlängenselektive Koppereinheit ausgebildet sein. Auf diese Weise ist es möglich, die Pumpleistung bei der Pumpwellenlänge praktisch ohne nennenswerte Verluste in die Übertragungsstrecke 9 einzukoppeln. Umgekehrt kann das WDM-Nutzsignal, welches gegenüber der Pumpwellenlänge oder den Pumpwellenlängen bei höheren Wellenlängen liegt, praktisch verlustfrei über die Koppelstelle der Koppereinheit 11 hinweg zur WDM-Empfangseinheit übertragen werden. Damit sind in beiden Signalpfaden allenfalls geringe Einfügedämpfungen zu erwarten.

Die optische Verstärkereinheit 7 umfasst des Weiteren eine Koppereinheit 15, die im Signalpfad zwischen der Koppereinheit 11 und dem Eingang der WDM-Empfangseinheit 5 liegt. Die Koppereinheit 15 kann als einfacher, wellenlängenunabhängiger Splitter ausgebildet sein. Sie dient dazu, um von dem am Eingang 15a der Koppereinheit 15 anliegenden Signal einen bestimmten Bruchteil der Leistung, beispielsweise einige wenige Prozent, abzuzweigen und einem Detektor 17 zuzuführen. Der Detektor 17 erzeugt ein von der Leistung des ihm zugeführten optischen Signals abhängiges elektrisches Signal und führt dieses einer Steuereinheit 19 zu. Die Steuereinheit 19 dient zur Ansteuerung der Pumpquelle 13 und gegebenenfalls auch für weitere ihr zugeordnete Aufgaben.

Die optische Verstärkereinheit 7 ermöglicht das Überwachen der Übertragungsstrecke 9 in der nachstehend skizzierten Art und Weise:

Die Steuereinheit 19 steuert die Pumpquelle 13, insbesondere beim Einschalten der optischen Verstärkereinheit 7, zunächst so an, dass eine Pumpleistung  $P_p$  in die Übertragungsstrecke 9 eingekoppelt wird, die so klein ist, dass noch keine nicht-linearen optischen Effekte auftreten. Mittels des Detektors 17 überwacht die Steuereinheit 19, ob im Signalpfad in Richtung auf die optische Empfangseinheit 5 ein Signal mit einer Leistung auftritt, die größer ist als ein vorbestimmter Schwellwert. Ein derartiges Signal

kann lediglich dadurch erzeugt werden, dass entlang des Verlaufs der Übertragungsstrecke 9 zwischen dem Port 11a für die Einkoppelung der Pumpleistung in die Übertragungsstrecke 9 und dem Ausgang für das WDM-Signal der WDM-Sendeeinheit 3 eine Störungsstelle vorliegt, an der eine Reflexion des Pumpsignals auftritt. In diesem Fall erzeugt die Steuereinheit 19 ein Fehlersignal und schaltet die Pumpquelle 13 ab. Ein Hochfahren der Pumpquelle 13 auf höhere Leistungen wird vermieden.

Die vorstehende Erläuterung gilt für den Fall, dass das reflektierten Pumplicht (zumindest ein dektektierbarer Leistungsanteil hiervon) über die Koppeleinheit 11 zur Koppeleinheit 15 gelangen kann. Ist die Koppeleinheit 11 als wellenlängensensitive Koppeleinheit ausgebildet, so wird das reflektierte Signal jedoch in Richtung auf die Pumpquelle 13 geführt. In diesem Fall ist eine weitere Koppeleinheit 18 erforderlich, die das reflektierte Licht zumindest Teilweise auskoppelt und einem weiteren Detektor 20 zuführt (diese Komponenten sind in Fig. 1 gestrichelt angedeutet). Die Koppeleinheit 18 kann beispielsweise als Isolator ausgebildet sein und jegliche optische Leistung in Richtung auf die Pumpquelle in Richtung auf den Detektor 20 auskoppeln. Das Signal des Detektors 20 ist der Steuereinheit 19 zugeführt, die eine Signalauswertung gemäß der vorstehend für das Signal des Detektors 17 erläuterten Weise durchführt.

Da Unterbrechungsstellen bzw. Störungsstellen in der Übertragungsstrecke 9 jedoch auch so beschaffen sein können, dass keinerlei Reflexionen auftreten (wie dies beispielsweise an vollkommen unregelmäßigen oder schrägen Endflächen der Übertragungsfaser der Fall ist), so steuert die Steuereinheit 19 nach Durchführen des vorstehend erläuterten ersten Schritts die Pumpquelle 13 für den Fall, dass kein Reflexions-signal detektiert wurde, so an, dass eine Pumpleistung erzeugt wird, die so groß ist, dass in der Übertragungsstrecke 9 der Raman-Effekt auftritt. In diesem Fall wird innerhalb der effektiven Länge (vgl. unten) der Übertragungsstrecke 9 ein ASE Signal mit der Leistung  $P_{ASE}$  erzeugt, welches über die Koppeleinheit 11 der Koppeleinheit 15 und dem Detektor 17 zugeführt wird. Stellt die Steuereinheit 9 infolge des ihr zugeführten Detektorsignals fest, dass das ASE Signal mit einer Leistung  $P_{ASE}$  detektiert wurde, die

kleiner ist als ein vorgegebener Schwellwert, so geht die Steuereinheit 19 davon aus, dass die Übertragungsstrecke 9 gestört bzw. unterbrochen ist.

In diesem Fall schaltet die Steuereinheit 19 die Pumpquelle 13 sofort aus. Im nächsten Schritt kann dann die Pumpleistung 13 von der Steuereinheit 19 bereits auf den gewünschten Maximalwert zum Betrieb der Übertragungsstrecke hochgefahren werden. Auch in diesem Fall kann mittels des Detektors 17 nochmals die Leistung des ASE Signals für die nunmehr höhere Pumpleistung detektiert und mit einem entsprechenden Schwellwert verglichen werden. Liegt auch diese Leistung  $P_{ASE}$  im Bereich des vorgegebenen Schwellwerts bzw. innerhalb einer zulässigen Toleranz, so kann die Steuereinheit 19 ein Freigabesignal S an eine übergeordnete Steuereinheit abgeben, die dann die WDM-Sendeeinheit 3 und die WDM-Empfangeinheit 5 entsprechend ansteuert.

Das Hochfahren der Pumpleistung  $P_p$  kann jedoch auch schrittweise in Stufen oder kontinuierlich erfolgen. Die Steuereinheit 19 kann in diesem Fall die von der Pumpleistung  $P_p$  abhängige Leistung  $P_{ASE}$  erfassen und mit entsprechenden zugehörigen von der Leistung  $P_p$  abhängigen Schwellwerten oder dem Verlauf eines Schwellwerts vergleichen. Das Freigabesignal S kann in diesem Fall erst dann erzeugt werden, wenn für sämtliche Werte der Leistung  $P_{ASE}$  festgestellt wird, dass diese dem jeweils vorgegebenen Schwellwert entsprechen bzw. innerhalb einer zulässigen Toleranz liegen.

Die Steuereinheit 19 ist vorzugsweise so ausgeführt, dass sie die Pumpquelle 13 für das Hochfahren der optischen Verstärkereinheit 7 so ansteuert, dass ein moduliertes, vorzugsweise amplitudenmoduliertes Pumpsignal erzeugt wird. Auf diese Weise kann die Steuereinheit 19 das ASE Signal, welches in diesem Fall selbstverständlich ebenfalls moduliert ist, phasensensitiv detektieren. Die Steuereinheit kann hierfür einen integrierten Lock-in Verstärker aufweisen (dieser kann selbstverständlich auch als eigenständige Komponente realisiert sein). Dies ermöglicht ein hochgenaues Erfassen auch sehr kleiner Leistungen  $P_{ASE}$ .

Fig. 2 zeigt schematisch das Spektrum des in der Übertragungsstrecke 9 im normalen Betrieb geführten Signals. Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die Pumpquelle 13 Sendelemente für zwei Pumpwellenlängen  $\lambda_{p1}$  und  $\lambda_{p2}$ . Des Weiteren zeigt Fig. 2 ein WDM-Signal, bestehend aus Teilsignalen bei den Wellenlängen  $\lambda_1$  bis  $\lambda_4$ . Selbstverständlich ist in Fig. 2 für die Leistung bei den Pumpwellenlängen  $\lambda_{p1}$ ,  $\lambda_{p2}$  eine andere Skalierung für die Leistung  $P_p$  anzunehmen als für die Leistungen der Teilsignale des WDM-Signals. Des Weiteren ist in Fig. 2 gestrichelt der Verlauf der optischen Verstärkung  $g_{opt}$  angedeutet, wobei hierfür ein logarithmischer Maßstab anzusetzen ist.

Aus Fig. 2 wird deutlich, dass die Wellenlängen  $\lambda_{p1}$ ,  $\lambda_{p2}$  so zu wählen sind, dass sich über die gesamte Bandbreite der Teilsignale bei den Wellenlängen  $\lambda_{p1}$  bis  $\lambda_{p4}$  eine ausreichende, möglichst gleichförmige optische Verstärkung gewährleistet ist.

Fig. 3 verdeutlicht den Verlauf der Pumpleistung  $P_p$  und den Verlauf der optischen Nutzleistung  $P_n$  über die gesamte Länge  $L$  der Übertragungsstrecke 9 in Fig. 1. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, ist infolge der hohen Pumpleistung  $P_p$  im Bereich der effektiven Länge  $L_{eff}$  eine optische Verstärkung der Leistung  $P_n$  des Nutzsymbols gegeben. Über die effektive Länge  $L_{eff}$  wird jedoch wegen der hohen Pumpleistung auch das erfindungsgemäß auszuwertende ASE Signal erzeugt. Erfindungsgemäß kann daher zumindest eine Überwachung der Übertragungsstrecke 9 über eine Länge ausgehend vom Einkoppelpunkt der Pumpleistung bis zur effektiven Länge  $L_{eff}$  erzielt werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung einer optischen Übertragungsstrecke mittels eines optischen Verstärkers, insbesondere eines Raman-Verstärkers,
  - 5 (a) nach dem die von einer Pumpquelle (13) des optischen Verstärkers (7) erzeugte Pumpleistung ( $P_p$ ) in die optische Übertragungsstrecke (9) eingekoppelt wird,
  - (b) nach dem die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des durch die Pumpleistung ( $P_p$ ) in der Übertragungsstrecke (9) erzeugten, in Richtung auf den optischen Verstärker (7) zurückgeführten ASE (Amplified Spontaneous Emission) Signals detektiert  
10 wird und
  - (c) nach dem bei Unterschreiten eines vorbestimmten Schwellwertes für die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des detektierten ASE Signals ein Fehlersignal erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Auftreten eines  
15 Fehlersignals die Pumpquelle (13) deaktiviert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Auftreten eines Fehlersignals eine Fehlermeldung und/oder ein Bedienerruf erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
20 dass die Pumpleistung ( $P_p$ ) kontinuierlich oder schrittweise erhöht wird und dass das ASE Signal kontinuierlich und/oder schrittweise detektiert und jeweils mit einem mit der jeweiligen Pumpleistung ( $P_p$ ) korrespondierenden Schwellwert verglichen wird.

5. Verfahren nach einem Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Fehlersignal erzeugt wird, wenn für die bei mehreren oder bei allen unterschiedlichen Werten für die Pumpleistung ( $P_p$ ) detektieren Werte für die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des zugehörigen ASE Signals ein Unterschreiten des betreffenden Schwellwertes festgestellt wird.  
5
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem vorgeschalteten Verfahrensschritt die Pumpleistung ( $P_p$ ) auf einen Wert eingestellt wird, bei der in der Übertragungsstrecke (9) noch keine nicht-linearen optischen Effekte auftreten und dass anstelle der Leistung ( $P_{ASE}$ ) des ASE Signals die Leistung eines in der Übertragungsstrecke (9) möglicherweise reflektierten Signalsanteils detektiert wird und dass bei Überschreiten eines vorbestimmten Schwellwertes für die Leistung eines detektierten reflektierten Signals ein Reflexions-Fehlersignal erzeugt wird.  
10
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpleistung ( $P_p$ ) während der Phase des Hochfahrens des optischen Verstärkers (7) moduliert, insbesondere amplitutenmoduliert wird und dass das ASE Signal phasensensitiv detektiert wird.  
15
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modulation der Pumpleistung ( $P_p$ ) derart erfolgt, dass die zeitlich gemittelte Pumpleistung unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes liegt.  
20
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpleistung ( $P_p$ ) entgegen der Übertragungsrichtung des optisch zu verstärkenden Signals in die Übertragungsstrecke (9) eingekoppelt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der pumpleistungsabhängige Schwellwert, die mehreren pumpleistungsabhängigen Schwellwerte oder der pumpleistungsabhängige Verlauf des Schwell-  
25

wertes für die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des ASE Signals in einem Kalibriervorgang ermittelt werden, wobei der oder die Werte für die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des ASE Signals bei angeschlossener und intakter Übertragungsstrecke (9) abhängig von der Pumpleistung ( $P_p$ ) ermittelt und vorzugsweise gespeichert werden.

- 5        11. Optischer Verstärker, insbesondere optischer Raman-Verstärker,
  - (a) mit einer Koppeleinheit (11) für das Einkoppeln der Pumpleistung ( $P_p$ ) einer optischen Pumpquelle (13) in eine optischen Übertragungsstrecke (9),
  - (b) mit einer Koppeleinheit (15) für das Auskoppeln des durch die Pumpleistung ( $P_p$ ) in der Übertragungsstrecke (9) erzeugten, in Richtung auf den
 10        optischen Verstärker zurückgeführten ASE (Amplified Spontaneous Emission) Signals,
    - (c) mit einer Detektoreinheit (17) für das Detektieren des ausgekoppelten ASE Signals und
    - (d) mit einer Steuereinheit (19) zur Ansteuerung der Pumpquelle (13), welche
 15        ein ihr von der Detektoreinheit (17) zugeführtes, der Leistung ( $P_{ASE}$ ) detektierten ASE Signals entsprechendes Signal mit einem vorbestimmten Schwellwert vergleicht und welche bei Unterschreiten des Schwellwertes ein Fehlersignal erzeugt.
- 20        12. Optischer Verstärker nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koppeleinheit (11) für das Einkoppeln der Pumpenleistung ( $P_p$ ) als wellenlängensensitive Koppeleinheit ausgebildet ist, wobei Wellenlängen die um einen vorbestimmten Betrag größer sind als die Pumpwellenlänge mit geringer Dämpfung im Wesentlichen dem optischen Pfad für ein über die Übertragungsstrecke (9) zu übertragendes Nutzsignal zugeordnet werden und kleinere Wellenlängen mit ge-



ringer Dämpfung dem abzweigenden Arm für die Einkopplung der Pumpleistung ( $P_p$ ) zugeordnet werden.

- 5
13. Optischer Verstärker nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koppereinheit (15) für das Auskoppeln des ASE Signals als im Wesentlichen wellenlängenunabhängiger Splitter ausgebildet ist, der nur einen geringen Teil der Leistung des ASE Signals auskoppelt.
  14. Optischer Verstärker nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (19) die Verfahrensschritte nach einem der Ansprüche 2 bis 10 ausführt.

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung einer optischen Übertragungs-  
strecke mittels eines optischen Verstärkers, insbesondere eines Raman-Verstärkers,  
nach dem die von einer Pumpquelle (13) des optischen Verstärkers (7) erzeugte  
Pumpleistung ( $P_p$ ) in die optische Übertragungsstrecke (9) eingekoppelt wird, nach dem  
die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des durch die Pumpleistung ( $P_p$ ) in der Übertragungsstrecke (9)  
erzeugten, in Richtung auf den optischen Verstärker (7) zurückgeführten ASE (Ampli-  
fied Spontaneous Emission) Signals detektiert wird und nach dem bei Unterschreiten  
eines vorbestimmten Schwellwertes für die Leistung ( $P_{ASE}$ ) des detektierten ASE Si-  
gnals ein Fehlersignal erzeugt wird

Hauptzeichnung ist Figur 1

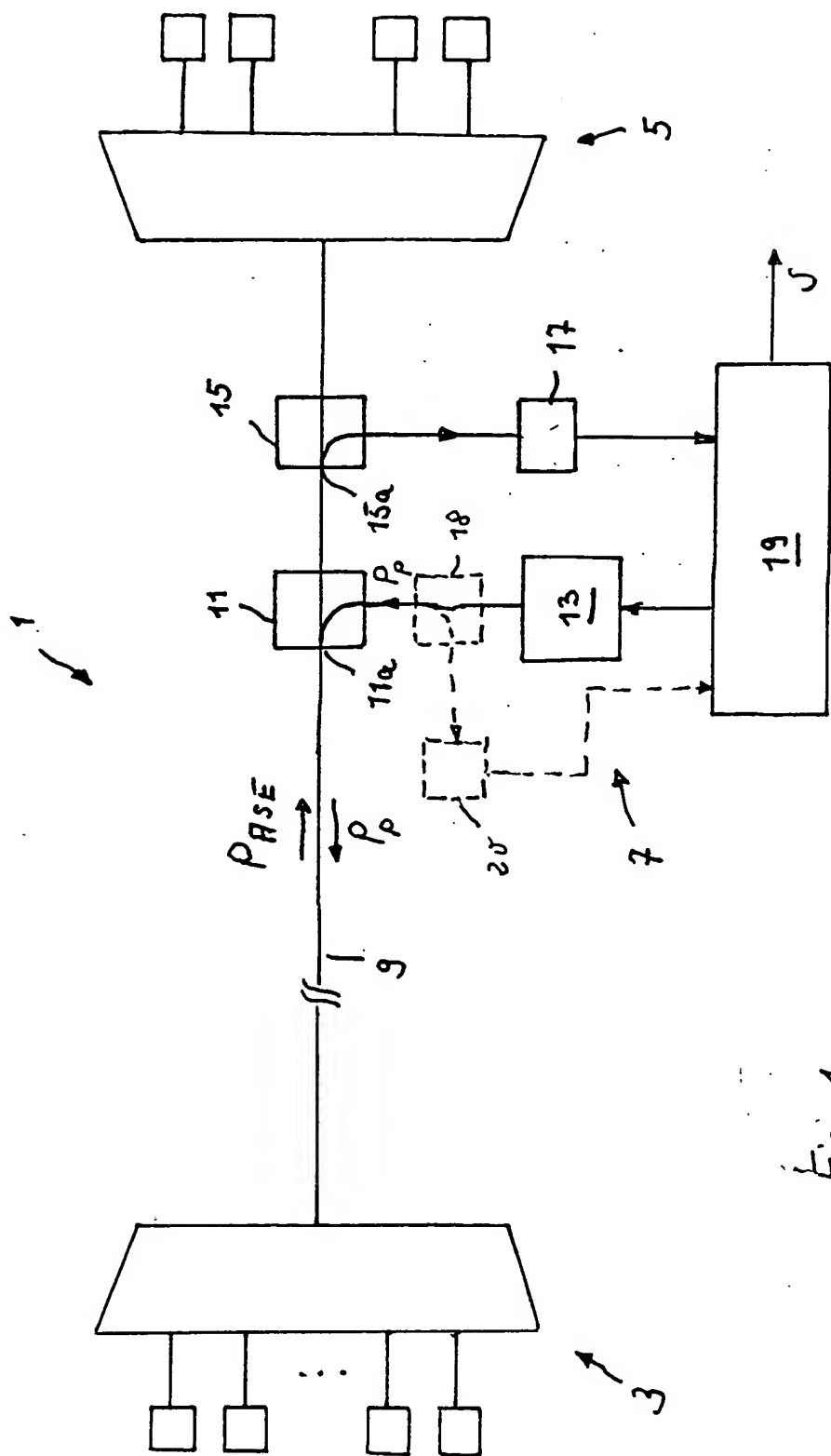


Fig. 1

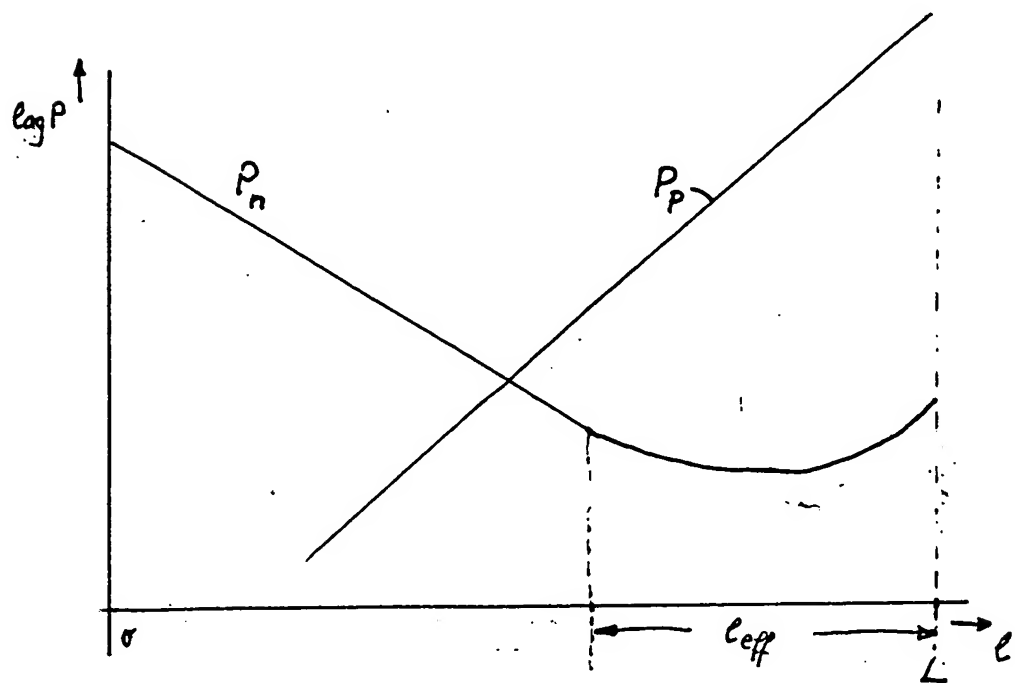
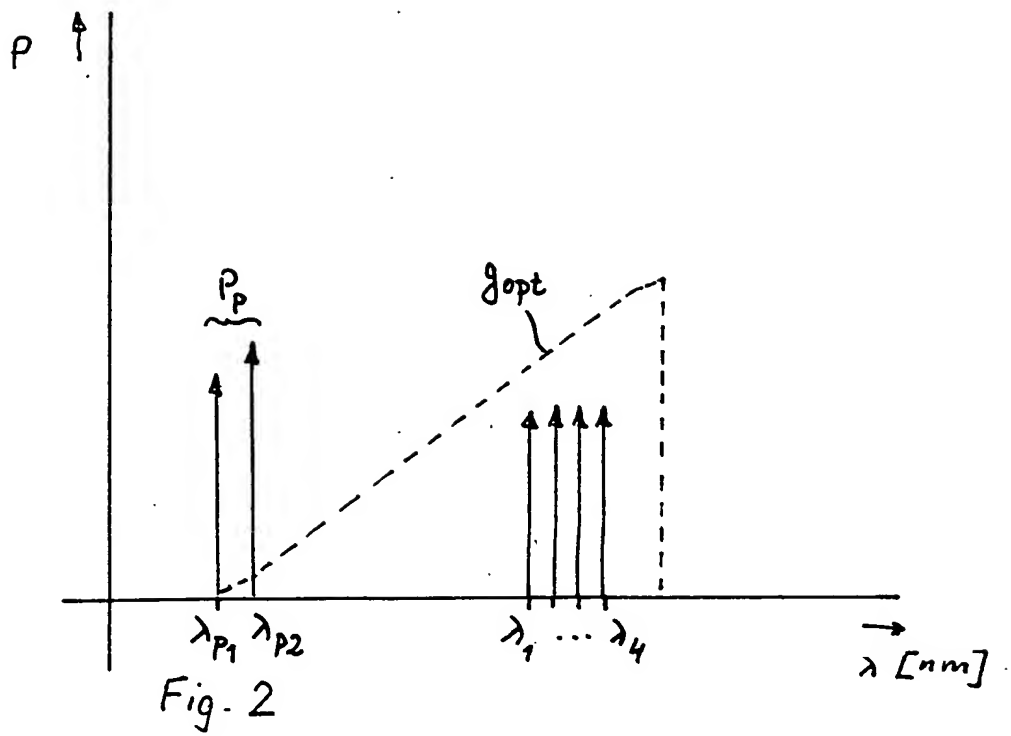


Fig. 3